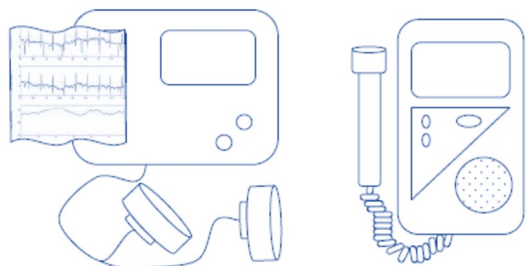
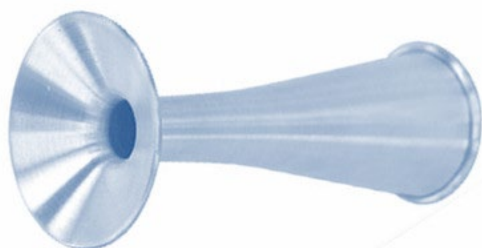
Cardiotocógrafos y Fonodetectores



Una de las principales preocupaciones durante el embarazo es la salud y el bienestar del feto, por lo que se han creado diversas formas para monitorear el estado y desarrollo fetal desde finales del siglo XIX. Los primeros intentos se enfocaban a tratar de reducir la tasa de mortalidad y monitorear los embarazos de alto riesgo por medio del uso del estetoscopio de Pinard, con el cual se llevaba a cabo el monitoreo intermitente mediante la auscultación de la **frecuencia cardiaca fetal (FCF)** durante 60 segundos (como mínimo), cada 15 minutos en el periodo de dilatación y cada 5 minutos en el periodo expulsivo.

Las mediciones obtenidas se anotaban en partograma con el cual se valoraba y se tomaban las decisiones clínicas sobre el parto más rápidamente. No obstante, las características de este estetoscopio dificultan realizar un monitoreo y registro continuo de los datos relacionados con el feto, además de reducir la movilidad de la madre.

Con el fin de incrementar la tasa de partos naturales y hacer una distinción de los casos que requieren cesárea, se realizaron estudios que relacionaban la frecuencia cardiaca fetal con el sufrimiento fetal agudo e incluso se desarrollaron pruebas de equilibrio ácido base, donde se extrae sangre del cuero cabelludo fetal relacionando el PH del cordón umbilical con la depresión del recién nacido.



Posteriormente, con la introducción de medios de monitoreo electrónico más sofisticados como los fonos detectores y cardiotocógrafos, se desarrollaron dispositivos más complejos junto con nuevas técnicas para obtener información, medir e interpretar la frecuencia cardiaca fetal. Sin embargo, de todos
los métodos anteriores, las instituciones de salud han optado principalmente por utilizar la monitorización del feto por medios electrónicos y mecánicos (de Pinard).

1.1.2 Introducción

Los fono detectores y los cardiotocógrafos son dos tecnologías que se utilizan en la etapa del **alumbramiento** y que comparten el principio de operación. Los fono detectores son dispositivos diseñados para proveer información audible y/o visual sobre el estado de la frecuencia cardiaca fetal por medio de medidas indirectas tomadas en la superficie del abdomen materno. Así mismo los cardiotocógrafos o monitores fetales proveen información gráfica y numérica de la frecuencia cardiaca fetal y de la **actividad uterina (AU)**, permitiendo al personal médico evaluar el bienestar del feto.

El principal propósito del *fonodetector de latido fetal*, es reafirmar el correcto estado del feto escuchando los latidos cardíacos del mismo a lo largo del embarazo. La frecuencia cardiaca fetal (FCF) difiere significativamente durante el embarazo, la tasa de referencia es considerablemente más alta (normalmente 180 latidos por minuto [BPM] en la semana 15 y 150 latidos por minuto a las 30 semanas). Es a partir de la octava semana de gestación cuando se comienza el monitoreo con el fonodetector, ya que no es posible escuchar la FCF con un estetoscopio de Pinard sino hasta la semana número 24. Además de permitir el cálculo de la frecuencia cardíaca del feto, en algunos fonodetectores más complejos, incluso se puede detectar la señal bidireccional del flujo sanguíneo. Muchas unidades poseen sondas opcionales para exploraciones más superficiales, las cuales son utilizadas para evaluar circulación arterial y desordenes vasculares en pacientes con padecimientos de este tipo. Estos tipos de unidades son conocidos como fonodetectores vasculares.

Por otra parte, los monitores fetales son usados en el ante parto (antes del alumbramiento) para seguir segundo a segundo los patrones de desarrollo, movimiento y frecuencia cardiaca fetal, ya que, durante el proceso del parto, la FCF presenta aceleraciones y desaceleraciones en respuesta a las contracciones uterinas o al movimiento de feto. Cuando el parto comienza, los músculos del útero se contraen rítmicamente incrementando la presión del líquido amniótico forzando el desplazamiento del feto hacia el cérvix, aumentando la frecuencia y la intensidad de las contracciones uterinas.

A través del análisis de estos patrones los médicos cuentan con herramientas para cambiar el curso del parto ya sea con medicamentos, con cambios en la cirugía o cualquier otra decisión importante que permita al feto su exitosa llegada al mundo. En el intraparto (durante el alumbramiento) los monitores fetales son utilizados en salas de labor y expulsión, e incluyen la medición de otros parámetros tales como:

electrocardiograma interno fetal, **saturación parcial de oxígeno (SpO2)** y **presión sanguínea no invasiva (PNI)**.

En algunos casos estos monitores se encuentran interconectados a una **Central de Monitoreo Obstétrico***,* a través de la cual se envían, despliegan y almacenan los registros de la frecuencia cardíaca fetal, la actividad uterina; así como, parámetros maternos. Además, se pueden generar reportes, estadísticas, entre otras funciones.

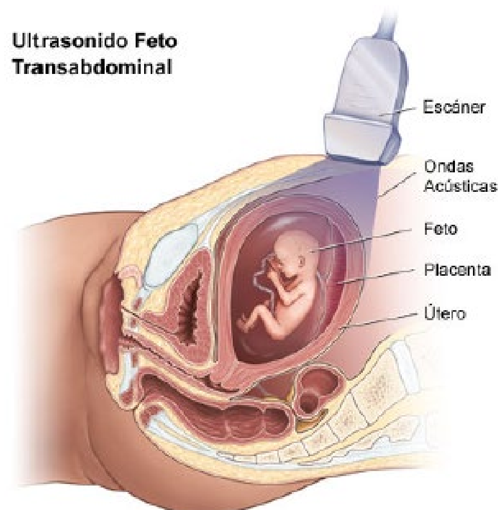


Figura 2. Ultrasonido Fetal. Fuente: Evaluación del primer trimestre. Tomada en febrero 2010. Disponible en: http://www.childrenscentralcal.org/Espanol/HealthS/P05571/P05610/Pages/P08569.aspx

Fonodetectores

Los fonodetectores o Doppler fetales transmiten ondas sonoras de alta frecuencia, esta transmisión puede ser tanto continua como pulsada. Esto se realiza por medio de una sonda que contiene transductores con **cristales piezoeléctricos**, la sonda se coloca contra el abdomen de la madre en la región del corazón del feto y se aplica un gel sobre la piel para mejorar el acoplamiento acústico y facilitar la transmisión eficaz de las ondas de ultrasonido dentro y fuera del cuerpo. Los fonodetectores funcionan utilizando el efecto Doppler, es decir, el fonodetector genera energía ultrasónica hacia el feto a través de los tejidos del organismo de la madre. Esta energía que es reflejada por el feto, en particular por sus estructuras en movimiento (por ejemplo, el corazón del feto, las células de la sangre, las paredes del vaso) y es detectada por el transductor para generar la FCF.

De acuerdo con el efecto Doppler, la frecuencia de las ondas ultrasónicas (f) reflejadas cambia dependiendo de la velocidad y la dirección de las estructuras en movimiento; si estas van en dirección al transductor aumenta la frecuencia, mientras que en dirección opuesta disminuye. Los fonodetectores detectan, amplían este cambio de frecuencia y lo transmiten hacia los altavoces o auriculares. Sin embargo, esta FCF acústica no es el latido del feto real, es el sonido que es creado por el cambio de frecuencia de la señal ultrasónica.
Después de adquirir la señal con los transductores, se calcula la FCF midiendo el tiempo entre los picos de la señal Doppler. Los fonodetectores utilizan un proceso de cálculo denominado **autocorrelación**, que genera un patrón a partir de la señal detectada. Esta autocorrelación contribuye a reducir que señales diferentes al feto se utilicen para calcular la FCF y asegura que se seleccionen sólo las ondas reflejadas que representan la frecuencia cardíaca fetal. Las frecuencias que se utilizan en estos equipos están en el rango de 2 a 10 MHz. Las más altas proporcionan mayor sensibilidad, pero son atenuadas rápidamente por los tejidos, sin tener la capacidad propia de las señales de más baja frecuencia de penetrar en estructuras más profundas. Es por esta capacidad de penetración y formas del haz de ultrasonido, que se normalmente se utilizan sondas de 2 a 3 MHz para detectar la frecuencia del corazón del feto.

Las unidades que tienen frecuencias seleccionables normalmente requieren de una sonda individual para cada frecuencia, ya que no se puede utilizar el mismo transductor para diferentes frecuencias.

La frecuencia de cada transductor determina la profundidad a la que puede penetrar el ultrasonido, por ejemplo, una sonda de 5 MHz sirve para examinar arterias y venas profundas y una sonda de 8 MHz
se aplica para el flujo de sangre justo debajo de la piel. Algunos fabricantes ofrecen equipos a prueba de agua, lo que permite su uso durante los nacimientos en agua, así como también facilita su limpieza.
Los fonodetectores al ser dispositivos sencillos, cuentan con relativamente pocos controles, por lo regular contienen con un control de ajuste de volumen y/o encendido, una pantalla LCD (pantalla de cristal líquido) donde muestran la FCF y una bocina interna o externa por donde presentan la FCF de forma sonora. Por otra parte, algunas unidades más avanzadas pueden tener un botón para congelar la lectura de la frecuencia, una salida para audífonos o contar con capacidad de realizar una impresión externa para hacer seguimiento de la FCF durante un período de tiempo.



Figura 3. Partes de un Fonodetector. Fuente: SoloStocks, The Market Place (2010). Disponible en línea en: http://imagenes.solostocks.com/

Cardiotocógrafos

Hoy en día el médico puede vigilar el estado del bebé y de la madre durante el trabajo de parto, esta monitorización se realiza con un cardiotocógrafo (también conocidos como monitores fetales) cuya función principal es registrar los valores de la frecuencia cardiaca fetal en una pantalla e imprimirlos sobre papel continuo, presentan alarmas cuando se detectan anomalías en los signos recibidos y poseen otras funciones como monitoreo de actividad uterina, **pulso oximetría**, características de telemetría y registro de parámetros.
Actualmente se monitorizan la mayoría de los trabajos de parto porque esta técnica permite actuar con rapidez al médico y cuando es el caso a la comadrona, si se presentan imprevistos.
En los embarazos de riesgo es imprescindible la monitorización, así como en los partos de bebés con peso bajo y en los inducidos. Al utilizar estos dispositivos, el médico posiciona un transductor y lo asegura al abdomen de la madre con una correa, después aplica un gel especial para hacer más eficiente el acoplamiento acústico del transductor con el abdomen.
También se colocan los sensores para funciones extras
como pulso oximetría o ECG entre otros, para tener la mayor cantidad de información durante todo el proceso.
De igual manera que los fonodetectores, los cardiotocógrafos detectan la frecuencia cardíaca fetal externamente utilizando el mismo principio: un transductor que transmite y recibe ondas de ultrasonido y las transforma en información sobre el estado del feto. Los cardiotocógrafos también calculan la FCF midiendo el tiempo de los picos de la señal Doppler recibida en el transductor y después de aplicar la autocorrelación, actualizan el valor de la FCF y realizan un registro gráfico de la misma. Es este registro junto con otros signos, los que permiten al médico tratante evaluar el avance del trabajo parto, para tomar decisiones sobre la mejor forma de realizar el alumbramiento del bebe.
Existen diferentes tipos de configuraciones dependiendo del modelo de cardiotocógrafo, que a menudo se utilizan para lograr un mejor desempeño y funcionalidad del equipo, con el fin de obtener un monitoreo más completo. La monitorización puede realizarse de dos maneras principalmente: de forma interna y externa.

Monitorización externa: colocando dos sensores sujetos con una faja al vientre de la madre, la conexión con el cardiotocógrafo registra los latidos del corazón del bebé y mide las contracciones del útero. Aunque esta técnica es confiable, los movimientos de la madre pueden variar mínimamente los resultados.

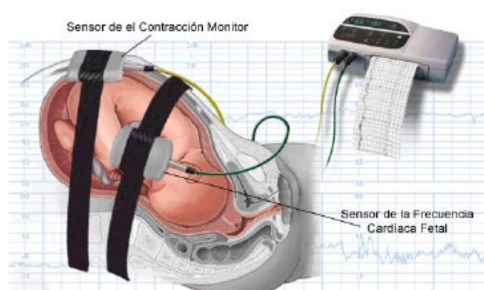


Figura 4. Monitorización Externa. Fuente: Control externo e interno de la frecuencia cardíaca fetal (2010). Tomada en enero 2010. Disponible en: http://www.ecommunity.com/health/index.aspx?pageid=P09290

Monitorización interna: se realiza colocando un electrodo en la cabeza del bebé y un catéter dentro del útero. Los datos son más fiables porque se captan los latidos directamente

del bebé sin alteraciones por los movimientos de la madre. El inconveniente es que para utilizar esta técnica es necesario que se hayan roto las membranas. Cabe mencionar que está técnica está dejando de usarse debido a que por su naturaleza invasiva presenta más riesgos para la madre y el feto.

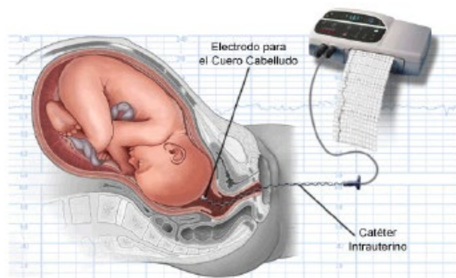


Figura 5. Monitorización Interna. Fuente: Control externo e interno de la frecuencia cardíaca fetal (2010). Tomada en enero 2010. Disponible en: http://www.ecommunity.com/health/index.aspx?pageid=P09290

Dentro de las diferentes unidades de monitoreo, existen algunas que pueden controlar simultáneamente la frecuencia cardíaca gemelar o de trillizos utilizando para esto varias configuraciones de transductores. Por mencionar un ejemplo, se puede monitorear gemelos con algún modelo más reciente permiten la monitorización invasiva simultánea de gemelos e incluso, algunas unidades permiten monitorear trillizos con dos transductores de ultrasonido y un electrodo de espiral. Los equipos que ofrecen monitoreo simultáneo de la FCF y la frecuencia cardíaca materna (FCM) por lo regular utilizan un transductor de ultrasonido para la frecuencia cardíaca fetal y un cable de ECG para la frecuencia materna. Cada modelo posee características particulares, por lo que es importante que estos incluyan una función para detectar cuando ambos canales están recibiendo la misma FCF o la frecuencia cardiaca materna (FCM) y la fetal, con el fin de alertar al usuario que los transductores deben ser reubicados.

Monitoreo de la Actividad Intrauterina (AU)
Como se mencionó anteriormente otra de las funciones del cardiotocógrafo es la de medir las contracciones uterinas, las cuales se pueden registrar simultáneamente a la FCF, este registro puede realizarse en forma interna o externa:

En forma externa se obtiene al colocar un transductor conocido como **tocotransductor**, el cual es ajustado al abdomen de la madre mediante un cinturón. Cuando el útero se contrae, cambia el volumen y tamaño del abdomen lo que oprime un pequeño botón que ejerce presión sobre el transductor. Los cambios de presión son detectados por el transductor e interpretados como un cambio de voltaje que es proporcional a la AU.

Respecto a la forma interna, se introduce un catéter a través de la vagina hasta el útero después de la ruptura del saco amniótico. El transductor registra la presión del líquido amniótico atrapado en el útero que representa el incremento de la presión durante las contracciones uterinas. Hoy en día, también existen otro tipo de sondas que tiene un sensor de presión en la punta.

La oximetría de pulso
Esta medida es un valor numérico producido de la monitorización continua de la **saturación parcial de oxígeno (SpO2)**. La cual es adquirida a través de un sensor en el dedo de la mano o del pie, obteniendo al mismo tiempo la frecuencia cardíaca. La oximetría de pulso se utiliza a menudo para supervisar a la madre durante la **administración epidural** de anestesia para alertar al personal médico de una falta de oxígeno en la madre, lo que a menudo precede a otros síntomas más severos y con esto tener una supervisión para ofrecer una evaluación más completa del feto.
La tecnología proporciona una evaluación espectrofotométrica de la saturación de O2, que es la diferencia en la absorción de luz entre oxihemoglobina y hemoglobina realizando la medición por medio de la luz que se transmite a través de una red capilar ubicada por lo regular en un dedo. El método espectrofotométrico esta basado en la ley de Beer-Lambert que relaciona la concentración de un soluto con la intensidad de luz transmitida a través de la solución. Sin embargo, diversos estudios han resultado en que la oximetría de pulso más la **cardiotocografía (CTG)** no muestra diferencias en las tasas generales de cesárea, ni diferencias en la salud de la madre o el recién nacido en comparación con la CTG sola.

Telemetría
Algunas unidades cuentan con sistemas de telemetría interna o externa, los cuales transmiten la frecuencia cardiaca fetal y las señales de la actividad uterina por ondas de radio a un receptor en el monitor fetal. Durante un seguimiento continuo, la madre puede llevar un transmisor de bolsillo lo que permite la ambulación entre las contracciones. La frecuencia cardíaca fetal y los datos de la AU también se pueden transmitir a una institución médica a distancia por medio de líneas telefónicas, ya
que por lo regular cuentan con **puerto TCP/IP** y en algunos casos con conexión inalámbrica.

Centrales de Cardiotocografía
Los monitores fetales pueden vincularse para permitir visualizar la información de varios pacientes en una estación central de monitoreo a la que se denomina central de cardiotocografía, estas centrales contienen sistemas de gestión de datos obstétricos que permiten la captura y la conservación de los registros de la monitorización fetal, que al anexarse al expediente clínico deben conservarse por 5 años.
Estos sistemas de gestión interactúan con los cardiotocógrafos y monitores fetales para recolectar, mostrar y almacenar las grabaciones de la FCF, la actividad uterina, y los demás parámetros de control (por ejemplo, ECG materna, la presión arterial). También pueden realizar el cuadro de paciente, generación de informes, y análisis estadístico, dependiendo de las características de su software.
Al estar ubicados cerca del paciente, estas centrales permiten el flujo continuo de datos actualizados, mientras que al mismo tiempo proporcionan una vigilancia constante del paciente desde la estación central, que usualmente es ubicada en la central de enfermeras. Dado que la central de
cardiotocografía se puede comunicar con los equipos conectados al paciente, permite el acceso a su información completa, lo que produce una mejor interacción paciente-enfermera; puede reducir las tareas administrativas de enfermería, mejorar la comunicación y los gráficos generados y simplificar el cambio de turno.
Dependiendo de la marca y la sofisticación del sistema, las aplicaciones clínicas incluidas en el diseño de la central de cardiotocografía pueden ser las siguientes:
Alarmas predefinidas tanto fetales como maternas.

Registros, incluyendo hojas de flujo, órdenes de entrada, entradas, descargas y transferencias de pacientes.

Entrada en automático de los valores del monitoreo materno.

Formas y reportes ajustables a las necesidades de cada área.

Acceso remoto vía "wifi".

Almacenamiento.

Patrones críticos, análisis estadístico.

Clasificación de los Cardiotocógrafos y Fonodetectores del latido fetal

Los signos vitales del feto cambian a lo largo del desarrollo de la gestación, es por esto que se han creado diferentes tipos de equipos con el fin de monitorear estos signos de manera más confiable y segura. En el caso de los cardiotocógrafos, la clasificación se realiza dependiendo del momento en que sensan los datos del feto, es decir, antes o durante el trabajo de parto.

Cardiotocógrafo de Anteparto: estos equipos son usados para monitorizar el desarrollo, movimiento y frecuencia cardíaca del feto dentro del útero. Estos monitores sólo poseen capacidades de medición externas, como es el ultrasonido y la actividad uterina.

Cardiotocógrafo de Intraparto: estos monitores son utilizados en las salas de labor y en los quirófanos durante el alumbramiento. Además de las configuraciones tradicionales del monitor anteparto, estos monitores tienen capacidades adicionales tales como: electrocardiograma y saturación parcial de oxígeno (SpO2) fetales, e incorporan el monitoreo de ciertos signos vitales de la madre como son la presión uterina interna, electrocardiograma, SpO2 y presión sanguínea no invasiva. Además, algunos equipos proveen de la medición continua del oxígeno del feto, perfusión tisular y frecuencia cardíaca no invasiva medida en forma directa. Por otro lado, los fonodetectores también se dividen de acuerdo con el tipo de onda que utilizan para adquirir la señal proveniente del feto. Existen dos tipos de fonodetectores de latido fetal que son el Doppler continuo y el Doppler Pulsado, ambos funcionan con un cristal cuya principal función es
detectar la frecuencia cardiaca fetal; también existen con otras aplicaciones como las mencionadas anteriormente dependiendo de cristal que contenga:

Doppler Continuo: Estos equipos con trasmisión de onda continua cuentan con dos cristales piezoeléctricos, y cuando pasa corriente eléctrica a través del primer cristal se produce una vibración que crea y transmite energía acústica, esta energía atraviesa la piel de la madre y llega a las estructuras del cuerpo del bebé donde es reflejada y detectada por el segundo cristal.

Doppler Pulsado: En estos sistemas de onda pulsada, un solo cristal transmite y detecta alternadamente ráfagas periódicas de las ondas de ultrasonido. En ambos tipos de sistemas, la onda reflejada se reconvierte en una señal eléctrica que puede ser usado para crear una forma de onda.

Estos tipos de fonodetectores tienen el mismo desempeño en la práctica, por lo que no existe una significativa entre seleccionar uno u otro. Sin embargo, en el sentido teórico el Doppler continuo siempre está enviando y recibiendo la FCF, mientras que el pulsado requiere enviar y recibir señal produciendo una medición que no es continua.

Efectos secundarios y riesgos

Uno de los riesgos y problemas asociados al uso del fonodetector de latido fetal es la dificultad para detectar la frecuencia cardíaca fetal. El sobrepeso y el flujo sanguíneo del paciente pueden absorber
la energía acústica complicando la correcta medición de los datos. Existe también la queja por parte de los usuarios de encontrar difícil la manipulación de los transductores de ciertos equipos. De igual manera se ha reportado que cuando se usa para registro de la FCF por periodos de tiempo prolongados, se requiere poner la sonda en determinada posición durante todo el registro, lo que puede ser extenuante e impedir que el usuario realice otras tareas durante el tiempo de medición.
Es muy importante asegurar la correcta limpieza del gel de la cabeza del transductor para evitar la transmisión de ciertos agentes patógenos de paciente a paciente.
Los riesgos y problemas asociados al uso de los cardiotocógrafos son:

Detección errónea de la frecuencia cardiaca del feto (FCF), cuando en muchos de los casos es confundida con la frecuencia materna (FCM).

El reporte erróneo de la desaceleración de la actividad uterina debido a interferencia de ruidos no deseados, pero que podría significar diagnósticos erróneos y por tanto intervenciones no deseadas.

Las infecciones en la madre, perforaciones del útero, entre otros, por el uso de catéteres intrauterinos.

Aunque no se tiene total certeza, existen algunos investigadores que muestran inquietud por los efectos de la exposición del feto al ultrasonido; sin embargo, la mayoría de los monitores fetales emiten bajas intensidades ultrasónicas.

Uno de los problemas asociados con la telemetría es la perdida de señal momentánea, lo que puede resultar en falsas alarmas y perdida de datos del monitoreo. Se recomienda que ningún otro equipo o fuente de interferencia opere en las frecuencias reservadas para estos sistemas.

En el caso del monitoreo ambulatorio, la madre se coloca el transductor y es posible que este sea tirado al piso o al baño o al lavabo, por lo que se recomienda usar transductores resistentes al impacto y al agua.

Los riesgos y problemas asociados al uso de Centrales Obstétricas son:

Los componentes de computadoras son sensibles a la temperatura, humedad y voltaje. Por lo que se recomienda tener estas condiciones controladas

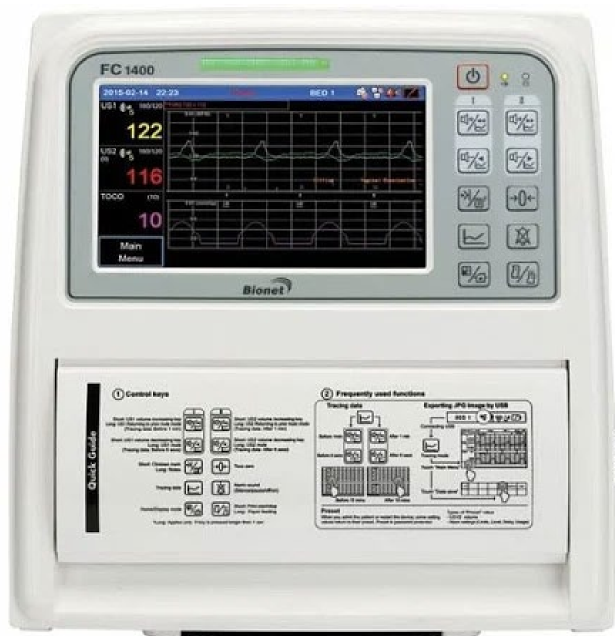
Las fluctuaciones de electricidad pueden dañar los componentes eléctricos. Se recomienda instalar un interruptor de corriente eléctrica.

Se debe evitar la instalación de programas que no sean los dedicados al sistema de monitoreo obstétrico.



Cardiotocógrafo Básico
Transductor para la FCF y transductor para la actividad intrauterina.

• Procesado de señal por autocorrelación.
• Despliegue gráfico y numérico de la actividad uterina, con registro de la detección del movimiento fetal en forma manual o automática (acto grama).
• Alarmas audibles y visuales, con indicador de la calidad de la señal.
• Con puerto o interfaz para computadora
• Registrador térmico con dos canales uno para actividad uterina (toco) y otro para frecuencia cardiaca fetal, Con tres velocidades de registro como mínimo



Cardiotocógrafo Gemelar

• Características del Cardiotocógrafo Básico
• Dos canales y dos transductores de ultrasonido para la frecuencia cardiaca de dos fetos.
• Registrador térmico con tres canales, uno para actividad uterina (toco) y dos para frecuencia cardiaca fetal

Monitor Materno Fetal

• Características del Cardiotocógrafo Gemelar
• Capacidad para realizar ECG materno.
• Capacidad de medición del electrocardiograma fetal directo de manera invasiva.
• Con capacidad de medición de presión sanguínea materna de forma no invasiva.
• Con capacidad para hacer Pulso oximetría materna.

Fonodetector portátil de latidos fetales.

• Transductor a prueba de agua. De 2 MHz ó 3 MHz
• Despliegue digital en pantalla LCD o electroluminiscente de la frecuencia cardiaca fetal y señal visual de latido cardiaco fetal, con indicación en pantalla de batería baja.
• Opera con baterías recargables y cargador Inter construidos.
• Con apagado automático, bocina Inter construida al equipo, control de volumen variable.

Detector de latidos fetales de mesa.

• Características del Fonodetector Portátil de Latidos Fetales.
• Mesa de transporte.

Fonodetector vascular

• Características del Fonodetector Portátil de Latidos Fetales.
• Transductor para detección vascular a prueba de agua de 5 a 10 MHz.